Труды Зоологического института РАН
Том 319, № 2, 2015, с. 229–243



УДК [574.632 : 574.587].087.1

БИОРАЗНООБРАЗИЕ СООБЩЕСТВ ДОННЫХ ЖИВОТНЫХ И КАЧЕСТВО ВОД ЭСТУАРИЯ Р. НЕВЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО СТРЕССА

Е.В. Балушкина* и С.М. Голубков

Зоологический институт Российской академии наук, Университетская наб. 1, 199034 Санкт-Петербург, Россия; e-mail:balushkina@zin.ru; golubkov@zin.ru

РЕЗЮМЕ

В восточной части Финского залива обнаружены 129 видов и надвидовых таксонов донных животных, в Невской губе – 127 видов, в целом в эстуарии р. Невы – 188 таксонов зообентоса, из них 68 общие для Невской губы и восточной части Финского залива. В настоящее время в сообществах зообентоса эстуария доминируют эврибионтные виды-индикаторы, населяющие «загрязненные» и «грязные» воды, положительно реагирующие на увеличение органического загрязнения и эвтрофирование экосистемы и способные переносить высокие концентрации тяжелых металлов и других поллютантов. Средняя оценка качества вод всей акватории Невской губы по интегральному индексу (IP′) на протяжении 21 года (1994–2014 гг.) оставалась достаточно постоянной. Её воды (за исключением 2006 г.) оценивались как «загрязненные». В курортной зоне восточной части Финского залива средние значения IP′ изменялись в период исследований от 67.4 до 71.5%, характеризуя воды на один класс ниже, чем воды Невской губы, как «загрязненные-грязные». Вследствие загрязнения видовое разнообразие донных животных в курортном районе восточной части Финского залива было значительно ниже, чем в Невской губе.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, биоразнообразие, зообентос, качество воды

BIODIVERSITY OF BENTHIC ANIMAL COMMUNITIES AND QUALITY OF WATERS IN THE NEVA ESTUARY UNDER ANTROPOGENIC STRESS

E.V. Balushkina* and S.M. Golubkov

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Universitetskaya Emb. 1, 199034 Saint Petersburg, Russia; e-mail: balushkina@zin.ru; golubkov@zin.ru

ABSTRACT

In the eastern part of the Gulf of Finland 129 in the Neva Bay 127 species and superspecies taxa of benthic animals were found. In total in 1994–2014 188 taxa of benthic animals were recorded in the estuary of the Neva River. Among these 68 are common for the Neva Bay and the eastern Gulf of Finland. At present zoobenthos communities in the estuary are dominated by eurybiont indicator species inhabiting “polluted” and “dirty” waters responding positively to an increase of organic pollution and eutrophication of the ecosystem and resistant to high concentrations of heavy metals and pollutants. Integrated mean assessment of water quality over the entire Neva Bay by means of (IP′) (for the 1994–2014) remained relatively stable during the whole period, waters (except in 2006) were assessed as “polluted”. In the health-resort zone of the eastern Gulf of Finland IP′ changed during the period of studies from 67.4 to 71.5% characterizing the quality of waters as “polluted-dirty”, which is one class lower than waters of the Neva Bay. As a result of pollution species diversity of benthic animals in the resort zone of the eastern Gulf of Finland is notably lower than in the Neva Bay.

Key words: anthropogenic stress, biodiversity, zoobenthos, water quality

* *Автор-корреспондент / Corresponding author*

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и восстановление биологического разнообразия – одна из приоритетных задач плана действий по защите окружающей среды Балтийского моря, разработанного Хельсинской комиссией и принятого к выполнению в 2008 г. Долговременные исследования Зоологического института показывают, что состояние биологических сообществ восточной части Финского залива напрямую связаны с качеством воды и донных отложений, отражая такие антропогенные воздействия, как эвтрофирование открытых и прибрежных вод Финского залива и загрязнение их органическими и токсическими веществами.

Сообщества донных животных эстуария р. Невы в настоящее время полностью утратили свой первоначальный облик. Реликтовые ракообразные *Monoporeia affinis* (Lindstrom), *Palasea quadrispinosa* Sars, *Mysis relicta* Loven, *Saduria entomon* (Linnaeus) – обитатели чистых вод, населявшие эстуарий в начале прошлого столетия, исчезли из сообществ бентоса Невской губы и мелководной части курортного района восточной части Финского залива (на наиболее глубоководных станциях 23 и 24 *M. affinis* и *S. entomon* – до сих пор обычные виды). В 20-е годы олигохеты не были многочисленными в Невской губе и курортном районе восточной части Финского залива, доминировали реликтовые ракообразные (Скориков [Skorikov] 1910). В 30-е годы прошлого столетия облик зообентоса отдельных участков Невской губы приближался к современному (Дерюгин [Derjugin] 1925; Материалы… [Materials…] 1949). В донных сообществах загрязненных илов морского канала главенствующей группой олигохет стали тубифициды, биомасса которых достигала 92.8% от биомассы макробентоса. Меньшее значение имели моллюски пизидиды и сферииды, брюхоногие моллюски, личинки хирономид, пиявки, и крупные двустворчатые моллюски родов *Anodonta* Lamark и *Unio* Philipsson. Биомасса бентоса колебалась в широких пределах) и составляла в среднем (без крупных моллюсков) 27.8 г/м^2. Доминировали олигохеты *Tubifex tubifex* (O.F.Mull.), р. *Limnodrilus* Clap., *Potamothrix hammoniensis* (Mich.) (Дерюгин [Derjugin] 1923, 1925; Материалы… [Materials…] 1949) – виды, свойственные водам, загрязняемым лабильным органическим веществом, индикаторы сильного токсического и органического загрязнения (полисапротоксобной зоны).

С 80-х годов прошлого столетия в Невской губе повсеместно наблюдалось увеличение степени доминирования олигохет, достигавших 95% от численности макробентоса в восточной части. Мелкие двустворчатые моллюски достигали наибольшего развития в центральной части губы и юго-восточном районе бара, где биомасса макробентоса достигала экстремальных значений, и была выше 1 кг/м^2 (Алексеева [Alekseeva] 1986; Финогенова и др.[Finogenova et al.] 1987; Финогенова и др. [Finogenova et al.] 1999; Balushkina and Finigenova 2003; Balushkina 1998).

В 1982–1984 гг. в открытой части Невской губы было встречено около 100 видов донных животных (Финогенова и др. [Finogenova et al.] 1987). За последнее десятилетие в открытой части эстуария р. Невы обнаружены 188 видов и надвидовых таксонов донных животных, из них в Невской губе отмечены 127, а в восточной части Финского залива – 129 видов и надвидовых таксонов донных животных. Из 188 таксонов 68 – общие для этих участков эстуария (Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2008; Balushkina and Golubkov 2014).

В последнее десятилетие во многих странах так же, как и в России, происходит смена химического контроля качества воды на биологический: приоритет оценки состояния экосистем по биологическим показателям стал очевидным. В этот период в ряде бывших советских республик появились работы в рамках реализации Европейской рамочной водной директивы, рекомендующей проводить биологический контроль качества вод и состояния водных объектов. Преимущества оценки качества вод по биологическим показателям основаны на том, что сообщества водных организмов отражают совокупное воздействие абиотических и биотических факторов среды обитания (Directive 2000/60/EC… 2000; Семенченко [Sementchenko] 2004; Семенченко и Разлуцкий [Sementchenko and Razlutsky] 2010). Основная цель «Водной директивы Европейского союза» (Water Framework Directive – WFD) – достижение хорошего «экологического» статуса для всех водных систем: основой экологического статуса водного объекта является «экологическое» качество воды. Под этим термином понимают структуру и функционирование сообществ водных организмов, которое отражает состояние водных масс. Чем выше «эко-

логическое» качество воды, тем большее число различных таксонов может обитать в водном объекте и тем больше число функциональных групп (Directive 2000/60/EC..., 2000).

Ранее нами была поставлена задача выбора наиболее информативных индикаторов для оценки качества вод, состояния водных экосистем, всестороннего исследования и количественного описания изменений, происходящих под влиянием антропогенного воздействия (Балушкина [Balushkina] 1995; Balushkina 1997a, 1997b; Алимов и др. [Alimov et al.] 1996). Оценка качества воды и состояния водных экосистем может быть успешной, если она основана на сочетании гидробиологических характеристик и методов, применяемых в санитарной гидробиологии. При этом сообщество животных должно быть всесторонне охарактеризовано, включая видовое богатство и биоразнообразие, характеристики количественного развития отдельных видов и рассчитанные на их основе индексы, включая учитывающие индикаторную значимость животных. Абиотические параметры, характеризующие экосистему, должны быть достаточно полными, и их связь с характеристиками сообществ животных должна быть выражена количественно. И только изучение связей между отдельными компонентами исследуемых водоемов и водотоков может обеспечить системный подход (в отличие от часто применяемого комплексного) в оценке состояния экосистем. Как правило, связи гидробионтов и абиотических параметров среды определяются крайне неполно, что затрудняет решение поставленной задачи, не позволяет получить единые уравнения зависимостей показателей, характеризующих сообщества животных, и тех или иных абиотических и биотических параметров.

Цель данной работы состояла в изучении количественных показателей видового богатства и видового разнообразия сообществ донных животных и их зависимость от качества воды и состояния водоемов на примере эстуария р. Невы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа видового состава, количественного развития зообентоса, оценки качества вод и состояния экосистем Невской губы и курортного района восточной части Финского залива использованы пробы макрозообентоса, собранные сотрудниками лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии Зоологического института РАН. Пробы отбирали в начале октября 1994 и 1995 гг., в августе 1996–1998 гг., июне 2001 г., в июле 2003 г., июле и августе 2002, 2004–2013 гг. Число станций, исследованных в разные годы в Невской губе и курортном районе восточной части Финского залива, представлено в Табл. 1. Расположение исследованных станций представлено на Рис. 1.

Пробы бентоса отбирали с помощью дночерпателей Петерсена и Экмана-Берджа с площадью

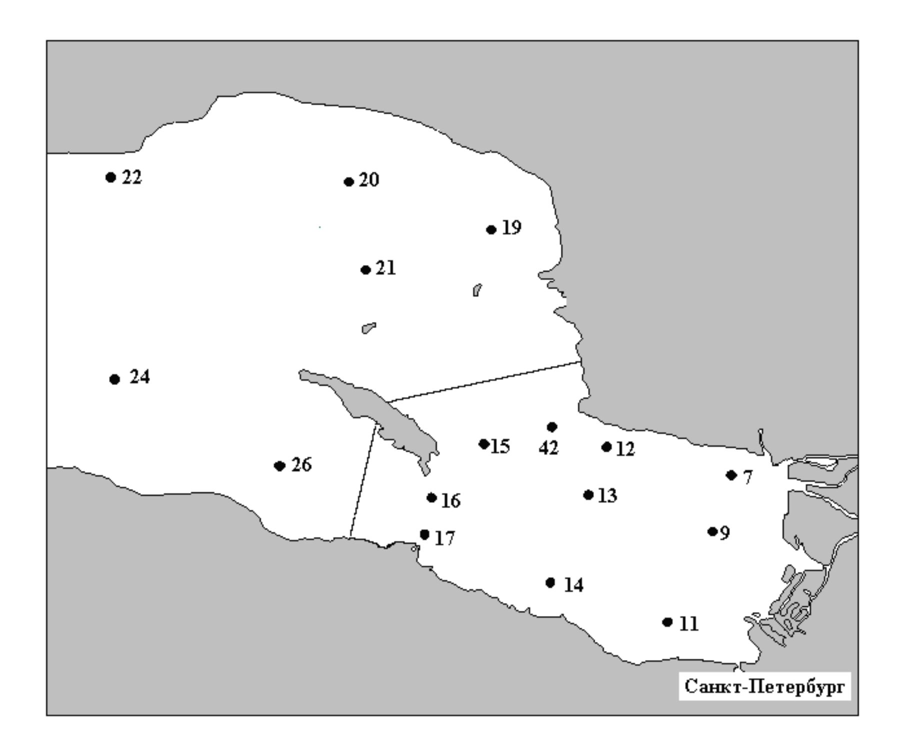


Рис. 1. Расположение основных гидробиологических станций на акватории Невской губы и курортного района восточной части Финского залива, номера которых упомянуты в тексте.

Fig. 1. Location of main hydrobiological stations in the Neva Bay and in the resort area of the eastern Gulf of Finland, the numbers of which are mentioned in the text.

Таблица 1. Число станций в Невской губе и курортном районе восточной части Финского залива.
Table 1. Number of stations in the Neva Bay and the resort area of the eastern Gulf of Finland.

Район исследования (Area of studies)	Годы (Years)								
	1994	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003	2004
Невская губа (Neva bay)	5	5	31	36	34	23	14	11	10
Финский залив (Gulf of Finland)	6	6	14	24	–	6	6	6	6
Район исследования (Area of studies)	Годы (Years)								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Невская губа (Neva bay)	20	10	10	10	11	9	12	10	15
Финский залив (Gulf of Finland)	6	6	–	5	4	5	4	4	5

Таблица 2. Классы качества вод и состояния экосистем по показателям зообентоса St, No/Nc, Kch, 1/BI, IP и IP´ (%).
Table 2. Classes of water quality and state of ecosystems by zoobenthos indices St, No/Nc, Kch, 1/BI and IP and IP´.

Класс вод (Class of water)	Качество вод (Quality of water)	Состояние экосистемы (State of ecosystem)	St	No/Nc	Kch	1/BI	IP	IP´
			%					
1	Очень чистые (Very clean)		25	0	1.22	10	36.2	9.05
2	Чистые (Clean)	Относительно удовлетворительное (Relatively satisfactory)	37.5	50	9.4	20	116.9	29.22
3	Умеренно загрязненные (Moderately polluted)	Напряженное (Tense)	62.5	60	56.5	33	212	53
4	Загрязненные (Polluted)	Критическое (Critical)					265	66.25
4–5	Загрязненные – Грязные (Polluted – Dirty)	Кризисное (Crisis)	87.5	80	78.26	50	295.8	73.95
5	Грязные (Dirty)	Катастрофическое (Catastrophic)	100	100	100	100	400	100

захвата 0.025 м^2. Определение животных до вида в 1982–2013 гг. проводили сотрудники ЗИН РАН: олигохет – Н.П. Финогенова и И.Г. Ципленкина, моллюсков – Я.И. Старобогатов, хирономид – Е.В. Балушкина, амфипод – А.А. Максимов и сотрудник Института озероведения РАН Т.Д. Слепухина. Список видов животных, полученных ранее в 2008 гг. опубликован (Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2008а).

Для количественной оценки пространственного распределения и динамики структурных характеристик зообентоса сообщества донных животных на каждой станции характеризовали определенным набором показателей: видовой состав, число видов (*Nsp*, вид/в пробе), индекс видового разнообразия Шеннона (*H*, бит/экз.), численность (*N*, экз./м^2) и (*B*, г/м^2) и рассчитанные на их основе индексы, учитывающие индикаторную значимость как отдельных видов, так и таксонов более высокого ранга.

Для оценки качества вод водоемов и водотоков северо-запада России использовали интегральный показатель *IP′*, основанный на структурных характеристиках донных сообществ и позволяющий учитывать влияние загрязнения токсическими и органическими веществами (Балушкина [Balushkina] 1997а; Balushkina 1997b, Balushkina 1998). В *IP′* входят индекс сапротоксобности В.А. Яковлева St (Яковлев [Jakovlev] 1988), биотический индекс Вудивисса (*BI*) (Woodowiss 1964), индекс Гуднайта и Уитлея (*No/Nc*) (Goodnight and Whitley 1961) и индекс Е.В. Балушкиной (*Kch*) (Балушкина [Balushkina] 1976, 1987). Последние четыре индекса были преобразованы и выражены

в процентах от максимальных значений. С увеличением загрязнения значения индексов *St, No/Nc* и *Kch* возрастают, значения *BI* – снижаются, поэтому мы выразили величину *BI* обратной его значению величиной (*1/BI*), и в этом случае биотический индекс приобретает ту же направленность, что и у остальных трех показателей, т.е. по мере возрастания загрязнения увеличивается. Различная размерность выбранных показателей также затрудняет сравнение их абсолютных величин. Значения индекса *No/Nc* выражены в процентах, поэтому показатели *St, Kch* и *1/BI* также были выражены в процентах от их максимальных значений. Интегральный показатель *IP* рассчитывается как сумма, а *IP'* как среднее значение из входящих в него показателей, что имеет определенные преимущества при оценке качества вод в тех случаях, когда один из показателей, например *Kch*, из-за отсутствия хирономид нельзя рассчитать.

Для оценки состояния экосистем использовали классификацию степени экологического неблагополучия, представленную в методическом руководстве (Критерии… [Criteria…] 1992). Градации качества вод и состояния экосистем представлены в Табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В период исследований (1994–2013 гг.) Невской губы выделяются три этапа, которые различались по степени антропогенного воздействия и соответствующим изменениям структурных характеристик сообществ донных животных. На первом этапе (1994–2002 гг.) наблюдали процессы восстановления экосистемы Невской губы, связанные со спадом промышленности и снижением техногенной нагрузки в г. Санкт-Петербурге в годы «перестройки». На этом этапе в Невской губе широко распространились униониды *Tumidiana conus* (Spengler), *Unio pictorum* L., *Colletopterum subcirculare* (Clessin), мелкие бивальвии *Amesoda solida* (Normand), *Conventus conventus* (Clessin). Появились чистоводные виды хирономид *Monodiamesa bathyphila* (Kieffer), *Psectrocladius simulans* (Johannsen), *Psectrocladius psilopterus* (Kieffer in Kieffer and Thienemann) и *Synorthocladius semivirens* (Kieffer). Доминировавшие ранее олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap и *Tubifex tubifex* (Mull.) – показатели сильного органического загрязнения – резко сократили свой ареал и заместились более чистоводными видами *Lampodrilus isoporus variabilis* Svetlov и *Spirosperma velutinus* (Grube).

Наиболее значительные изменения в сообществах донных животных на этом этапе наблюдали в области наибольшей проточности в районе станций 7, 9 и 11. Значения интегрального показателя *IP'* на этих станциях в течение первого этапа снизились (38.1–39.5), и качество вод улучшилось на один класс, с четвертого (загрязненные) до третьего класса (умеренно загрязненные) воды, а состояние экосистемы улучшилось с «критического» до «напряженного». Это дает основание предположить уменьшение в области наибольшей проточности поступления на дно органических веществ, однако на большей части акватории Невской губы по-прежнему доминировали *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap., *Potamothrix hammoniensis* (Mich.), *Chironomus f. l. plumosus* L. – показатели «загрязненных» вод.

В течение первого этапа на фоне снижения антропогенного воздействия показатели видового богатства и видового разнообразия донных животных возрастали. В области наибольшей проточности эти показатели достигали максимальных значений 22–35 вид/м^2 и 3.04–3.7 бит/экз. соответственно. Наименьшее видовое богатство (5–12 видов бентоса на одной станции) и видовое разнообразие (1.14–1.87 бит·экз.$^{-1}$) отмечали в районе Санкт-Петербургского торгового порта. Низкие значения этих показателей (10–14 видов бентоса на одной станции и 1.8–1.9 бит·экз.$^{-1}$) отмечали также у южного берега Невской губы вблизи г. Петродворец (ст. 14), г. Ломоносов (ст.17) и у северного берега губы вблизи пос. Лахта (ст. 42), у о. Котлин (ст. 15) (Рис. 1).

Среднее для акватории Невской губы число видов донных животных в течение первого этапа возрастало от 11±1 до 23±2 вид/м^2, индекс видового разнообразия возрастал от 2±0.2 до 3±0.2 бит/экз. Средние для Невской губы значения интегрального показателя *IP'* снижались с некоторыми колебаниями с 64.5±2 в 1994 г. до 56.8±2.2 % в 2002 г.; не выходя за границы значений для 4-го класса «загрязненных» вод: состояние экосистемы Невской губы на этом этапе оценивалось как «критическое».

Второй этап исследований (2003–2007 гг.) сопровождался возрождением промышленности г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Строительство портов и активизация судоходства, связанная с транспортировкой энергоносителей, проведение работ по благоустройству морского фасада г. Санкт-Петербурга и завершение строительства защитных сооружений сопровождалось крупномасштабными гидротехническими строительными работами, что привело к повторному загрязнению вод и верхних слоев донных осадков в Невской губе токсическими и органическими веществами.

Средние для Невской губы значения числа видов донных животных в течение второго этапа снижались от 20±2 до 14±1 вид/м^2, средние для акватории значения индексов видового разнообразия также снижались на одной станции от 3±0.1 до 2.4±0.2 бит/экз. Средние значения интегрального показателя *IP'* возрастали в течение второго этапа с 60.9±1.8 % в 2003 г. до 68.2±4.4% в 2006 г., качество воды снижалось с 4 класса (загрязненные) до переходного 4–5 класса (загрязненные–грязные воды). Состояние экосистемы Невской губы в 2006 г. было наихудшим в течение периода исследований и оценивалось как «кризис», и в 2007 г. снова оценивалось как «критическое», а воды – как «загрязненные».

В последующие годы (третий этап: 2008–2013 гг.) с определенными колебаниями происходило восстановление Невской губы; в 2008 г. состояние ее донных осадков было существенно лучше, чем в предыдущие годы (Информационный бюллетень... [Newsletter...] 2008). Улучшение состояния донных осадков Невской губы было связано с завершением строительства морского фасада г. Санкт-Петербурга, его защитных сооружений и прекращением крупномасштабных дноуглубительных работ. Среднее для акватории Невской губы число видов донных животных мало изменялось в течение 3-го этапа, было наименьшим 17±2 в 2009 г. и наибольшим 21±3 вид/м^2 в 2010 г.; средние значения индексов видового разнообразия изменялись от 2.8±0.2 в 2009 г. до 3.1±0.2 бит/экз. в 2011 г. Средние значения *IP'* с небольшими колебаниями возрастали в течение 3-го этапа от 58.7±1.7% в 2011 г. до 64.1± 3% в 2013 г.

Проследить изменения видового богатства и видового разнообразия зообентоса Невской губы за длительный период времени позволяют средние для акватории Невской губы значения этих показателей. За период исследований 1982–2013 гг. среднее число видов (*Nsp*, вид/м^2) донных животных с некоторыми колебаниями возрастало и увеличилось почти в два раза, от 11±1 в 1982 г. до 20±1 в 2013 г. Значения индексов видового разнообразия Шеннона возросли почти в 1.5 раза, от 2.0±0.1 в 1982 г. до 2.9±0.2 в 2013 г. (Рис. 2).

В 1982–2013 гг. средняя для акватории Невской губы численность (*N*) зообентоса изменялась более чем в восемь раз, от 7478±1552 до 61126±14316 экз./м^2. С небольшими колебаниями средняя для акватории Невской губы численность зообентоса снижалась с 33354±13148 экз./м^2 в 1982 г. до 9256±3415 экз./м^2 в 2013 г. По численности доминировали олигохеты – от 9249 до 59225 экз./м^2, составляя от 80.4 до 96.9% от общей численности зообентоса. В период с 1994 по 2013 гг. за исключением 2001 и 2004 гг., когда *N* зообентоса достигала наиболее высоких значений (61126±14316 и 47219±21619 экз./м^2) вследствие вспышки численности олигохет подсем. Naididae, средняя численность зообентоса Невской губы изменялась всего в 2.5 раза.

Сообщество олигохет на большинстве станций Невской губы состояло на 50–70% (а в порту на 80%) из популяций *Limnodrilus hoffmeisteri* и *Potamothrix hammoniensis* – высокопродуктивных видов, показателей полисапротоксобной зоны по степени органического и токсического загрязнения. За период с 1994 до 2013 г. биомасса макрозообентоса изменялась всего в 6 раз, с 1982 г. по 2013 гг. она снизилась почти в 50 раз, с 141 до 2.84 г/м^2, что было связано со значительным снижением биомассы мелких двустворчатых моллюсков *Sphaerium scaldianum*, *Pisidium henslovanum*, *P. casertanum*. В 1982 г. биомасса этих моллюсков достигала экстремально высоких значений (близкие к 1 кг/м^2) на разрезе Лахта–Стрельна.

Курортный район восточной части Финского залива ограничен на востоке «дамбой» и включает станции мелководной зоны 19, 20, 21 и 26 с глубинами не более 15 м и 24 с глубинами до 30 м (Рис. 1). В мелководной зоне курортного района по численности и биомассе преобладали олигохеты, иногда большую роль играли личинки хирономид. В 2013 г. доминировали олигохеты *P. hammoniensis* (Mich.) и *L. hoffmeisteri* Clap.– показатели «грязных» вод, их численность достигала 60% от суммарной численности зообентоса. На станции 26 многочисленными были хирономиды, среди которых доминировали *Ch. plumosus* L.,

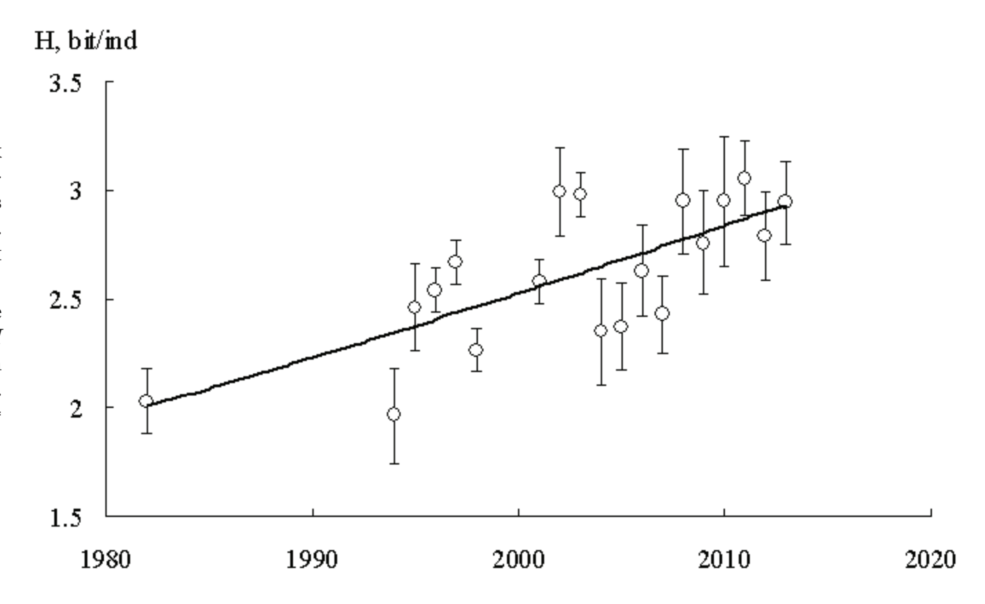


Рис. 2. Изменения средних значений индексов Шеннона (*H*, бит/экз.) зообентоса в Невской губе в 1982–2013гг. Коэффициент корреляции *R* = 0.71, *P*=0.95.

Fig. 2. Changes of the average values Shennon indexes (*H* bits /ind.) of zoobenthos in the Neva bay in 1982–2013. Correlation coefficient *R* = 0.71, *P*=0.95.

Procladius ferrugineus (Kieffer), *P. choreus* (Meigen) и *Micropsectra curvicornis* Tshernovskij. В 90-е годы изредка встречались мелкие двустворчатые и брюхоногие моллюски, с 2001 г. моллюски практически отсутствовали, но впервые появился вид полихет *Marencelleria neglecta* Sikorski et Bick.

При продвижении на запад на станции 24 с увеличением глубины (до 30 м) и по мере нарастания солености сообщество зообентоса кардинально меняется. Сначала резко уменьшается численность хирономид, а затем при солености более 3‰ они выпадают из состава бентоса. В сообществе олигохет уменьшается доля пресноводных видов *P. hammoniensis* и *L. hoffmeisteri*, появляются морские и солоноватоводные виды *Baltidrilus costatus* Claparède, *Paranais litoralis* (Müller), *Amphichaeta sannio* Kallstenius, *Marionina argentea* (Mich.), увеличивается численность *Monoporeia affinis* (Lindstrom). Сейчас на этих станциях доминируют полихеты рода *Marenzelleria*.

Наибольшее видовое богатство и видовое разнообразие донных животных наблюдали в сильно загрязненном и эвтрофируемом курортном районе восточной части Финского залива с соленостью не более 3‰. Под воздействием возрастающей в западном направлении солености видовое богатство и видовое разнообразие донных животных снижалось. В 2013 г. число видов донных животных в мелководной зоне курортного района (глубины до 15 м) изменялось от 8 вид/м^2 на станциях 19–21 до 15 вид/м^2 на станции 26, величины индексов видового разнообразия изменялись в этом районе от 1.71 до 3.54 бит/экз. Столь высокие значения видового богатства и видового разнообразия на станции 26 не были отмечены ранее и не характерны для курортной зоны. На более глубоководной станции переходной зоны 24 число видов и индексы видового разнообразия были значительно ниже: 5–7 вид/м^2 и 0.66–0.80 бит/экз. соответственно.

Среднее для акватории курортного района число видов снижалось в период наблюдений от 11±1.4 вид/м^2 в 1995–1996 гг. до 5±0.6 в 2002–2006 гг. и снова возрастало до 10 вид/м^2 в 2011–2012 гг. Динамика средних для акватории курортного района показателей видового разнообразия носила аналогичный характер. Индексы видового разнообразия были высокими в 1994–1996 гг. (1.7±0.2 2.1±0.3 бит/экз.), что было связано со спадом промышленности и сельского хозяйства, снижением техногенной нагрузки в этот период. В последующие годы наблюдалось снижение *H* до 1.1±0.2 бит/экз. в 2003 г., что было связано с затоком соленых и бескислородных вод, который произошел в 2003 г., и увеличением антропогенного воздействия, вызванного строительством Морского фасада города и завершением строительства защитных сооружений. Период повышения *H* в последующие 2008–2013 гг., скорее всего, был связан с окончанием этих работ;

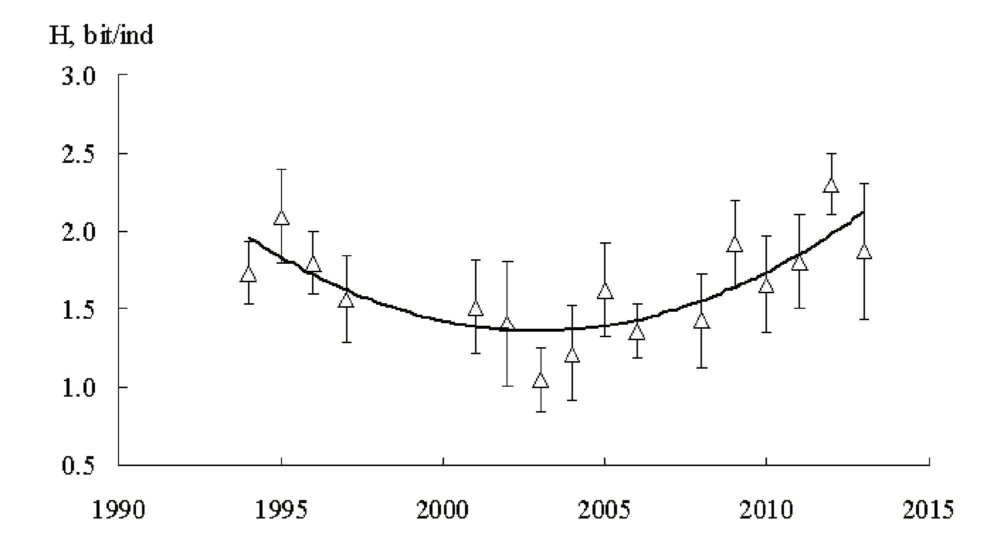


Рис. 3. Изменения средних для акватории курортного района восточной части Финского залива индексов Шеннона (*H*, бит/экз.) зообентоса в 1994–2013гг.

Fig. 3. Changes of the average values Shennon indexes (H bits /ind.) of zoobenthos in the waters of the resort area of the eastern Gulf of Finland in 1994–2013.

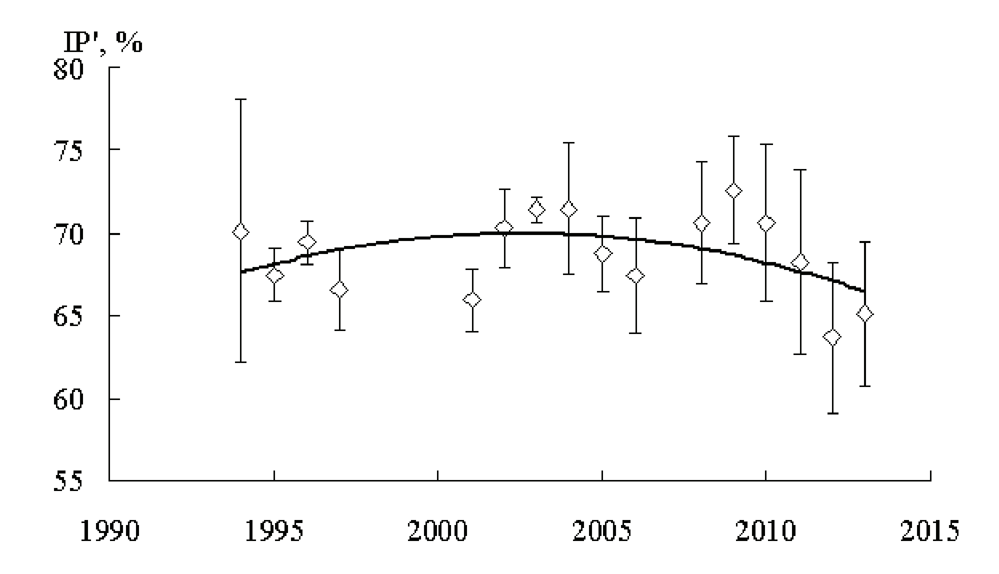


Рис. 4. Изменения средних для акватории курортного района восточной части Финского залива значений интегрального показателя *IP´* в 1994–2013 гг.

Fig. 4. Changes of the average values of the integrated indexes *IP´* in the waters of the resort area of the eastern Gulf of Finland in 1994–2013.

максимальное значение *H*=2.3±0.2 бит/экз. было отмечено в 2012 г. (Рис. 3).

Средняя численность зообентоса курортного района снижалась в 10 раз от 21413±3317 экз./м^2 в 1996 г. до 2135±1729 экз./м^2 в 2004 г., и оставалась низкой до 2006 г., когда она составила 2592±643 экз./м^2. Затем она постепенно повышалась в последующие годы, и достигла максимального значения 11585±3317 экз./м^2 в 2011 г. Средняя биомасса макрозообентоса Курортного района была наиболее высокой в 90-е годы, и ее максимальное значение (40.4±19.2 г/м^2) отмечено в 1994 г., а минимальное (5±1.1 г/м^2) в 2006 г., в период строительства Морского фасада г. Санкт-Петербурга.

Средние для акватории курортного района значения интегрального показателя *IP′* в 1994–2011 гг. изменялись от 67.2 до 72.6%, характеризуя состояние экосистемы как «кризисное», а воды как «загрязненные–грязные» (4–5 класс вод), на один класс ниже, чем воды Невской губы. Последовательное снижение значений *IP′* наблюдалось с 2009 г., и в 2012–2013 гг. значения интегрального показателя *IP′* снизились до 63.7–65.1%, качество вод курортного района улучшилось на 1 класс,

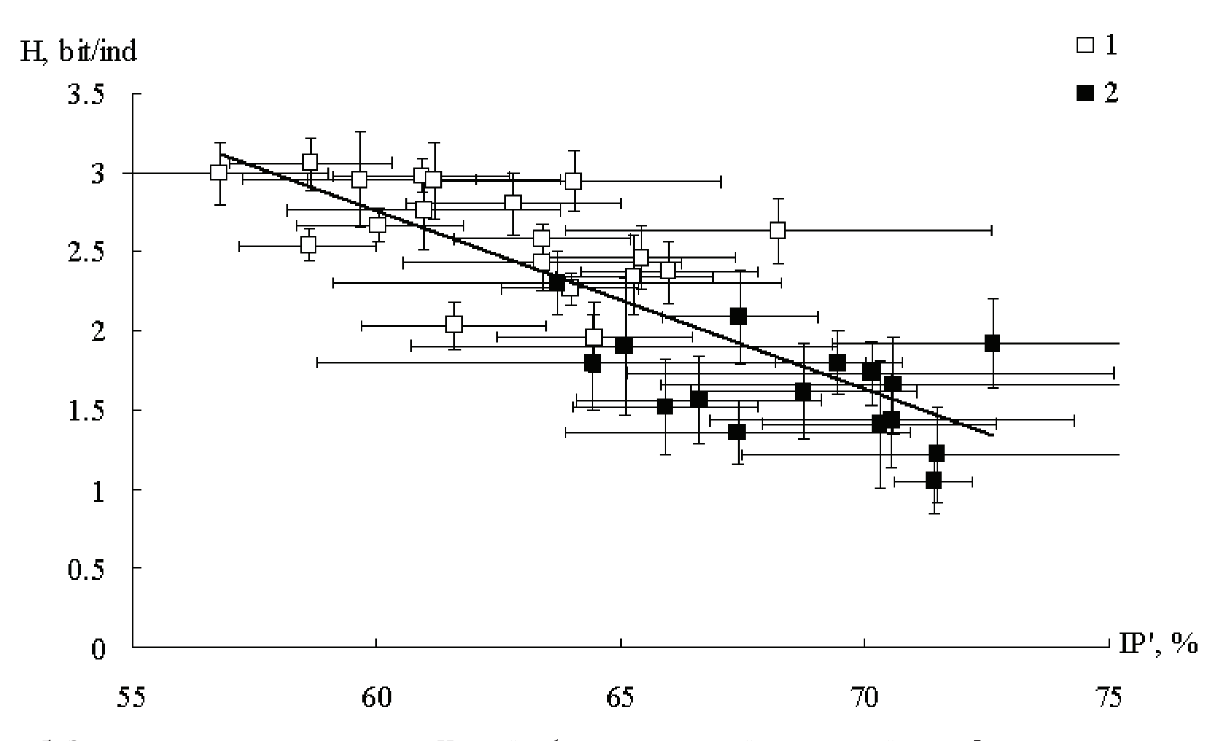


Рис. 5. Зависимость средних для акватории Невской губы и курортного района восточной части Финского залива значений индексов Шеннона от интегрального показателя *IP´* в 1994–2013 гг. по данным для 389 исследованных станций. *1* – Невская губа; *2* – Курортный район восточной части Финского залива. Коэффициент корреляции *R*=0.8, *P*=0.95.

Fig. 5. Relationship of average Shannon's index and integated index *IP´* in the Neva Bay (*1*) and resort area of the eastern Gulf of Finland (*2*) in 1994–2013 for 389 examined stations. Correlation coefficient *R*=0.8, *P*=0.95.

характеризуя воды, как и в Невской губе, как «загрязненные», а состояние экосистемы – как «критическое» (Рис. 4).

Средние для курортного района значения индексов Шеннона в 1994–2013 гг. в значительной степени зависели от качества воды (*IP′*) и были значительно ниже, чем в Невской губе (Рис. 5).

В 1994–2006 гг. в курортном районе восточной части Финского залива происходило снижение видового богатства, видового разнообразия, численности и биомассы зообентоса, т.е. наблюдались все признаки деградации сообществ донных животных. В 2006 г. значения этих показателей были наиболее низкими за период исследований, что, несомненно, было связано с проведением крупномасштабных дноуглубительных и грунтонамывных работ в Невской губе. В последующие годы 2008–2013 гг. отмечалось увеличение видового богатства, видового разнообразия, численности и биомассы зообентоса, что свидетельствовало о некотором восстановлении сообществ донных животных.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Эстуарий р. Невы на протяжении последних столетий подвергался интенсивному антропогенному воздействию и загрязнению токсическими и органическими веществами вследствие многоцелевого использования жителями г. Санкт-Петербурга и области. В результате в Невской губе выявлены устойчивые загрязнители, фиксирующиеся на протяжении нескольких десятилетий мониторинга. В первую очередь, это – нефтепродукты и тяжелые металлы: кадмий, ртуть, медь и ряд других. Донные отложения большинства бассейнов Торгового порта характеризуются высокими концентрациями Pb, Zn, Ni, Co, Cu, Cd, Hg (Basova et al. 2006; Newsletter... 2008). Помимо нефтеуглеводородов и тяжелых металлов, к перечню важных постоянных загрязняющих веществ эстуария относятся хлорорганические соединения и фенолы (Фрумин и Крючков [Frumin and Kryuchkov] 1999).

В настоящее время эврибионтные виды-индикаторы олигохет и хирономид населяют «загрязненные» и «загрязненные–грязные» воды эстуария р. Невы, они доминируют в зообентосе, доля их численности достигает на отдельных участках эстуария 99% (Balushkina 2009; 2012; Balushkina and Finogenova 2003; Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2012; Golubkov et al. 2009; Balushkina and Golubkov 2014**)**. Такие виды, как *Limnodrilus hoffmeisteri, Potamothrix hammoniensis, Chironomus plumosus* и др., положительно реагируют на увеличение органического загрязнения, эвтрофирование экосистемы, устойчивы по отношению к высоким концентрациям тяжелых металлов и других поллютантов. Благодаря этим особенностям, донные сообщества эстуария р. Невы достигают значительного видового богатства и видового разнообразия, несмотря на интенсивное антропогенное воздействие на экосистему.

Выделенные за период исследований три этапа различались по степени антропогенной нагрузки и показали тесную связь качества вод и величин биоразнообразия донных животных. Снижение антропогенной нагрузки на водоемы Санкт-Петербурга в годы перестройки (90-е годы прошлого столетия), связанное со спадом промышленности, приводило к увеличению видового богатства и биоразнообразия сообществ донных животных как в эстуарии р. Невы, так и в реках Ленинградской области. На отдельных участках р. Ижоры и в зоне наибольшей проточности Невской губы качество вод в этот период улучшилось с четвертого до третьего класса (Балушкина [Balushkina] 2002, 2003; 2004; Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2004).

Увеличение антропогенной нагрузки на эстуарий р. Невы в 2006–2008 гг. был связан с завершением строительства комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений в 2006–2008 гг., строительством пассажирского порта «Морской фасад» в 2005–2011 гг., образованием территории морского многофункционального перегрузочного комплекса «Бронка» в 2013 г. Сопутствующие строительству крупномасштабные дноуглубительные и грунтонамывные работы, сброс грунта в подводные отвалы, добыча нерудных материалов приводили к вторичному загрязнению вод, повышению концентрации взвешенных веществ и загрязнению верхних слоев донных осадков Невской губы токсическими и органическими веществами. В частности, содержание фосфора в водах Невской губы в августе 2008 г. возросло в 3–5 раз по сравнению с данными многолетних наблюдений, возросли концентрации нитритов и нитратов (Еремина и др. [Eremina et al.] 2009). Усиление антропогенного воздействия на экосистемы эстуария привели в 2005–2007 гг. к значительному повышению концентраций свинца и нефтепродуктов на всей акватории Невской губы. В 2008 г. концентрации нефтепродуктов (49 г/кг) превысили все наблюдаемые ранее значения, отмечалось катастрофическое обогащение донных осадков токсичными поллютантами, в частности кадмием (Информационный бюллетень [Newsletter] 2008; Rybalko et al. 2009; Golubkov et al. 2011). По сравнению с 90-ми годами прошлого столетия в 2005–2009 гг. значительно увеличилась концентрация цинка в придонных водах и сильно возросло его негативное влияние на видовое богатство и видовое разнообразие донных животных. С увеличением концентрации нефтепродуктов и свинца в придонных водах отмечена тенденция снижения численности и биомассы «мягкого» бентоса и увеличение численности и биомассы мелких моллюсков Pisidiidae, доминирующих в 4–5 классе вод. Статистический анализ показал, что при высоких концентрациях нефтепродуктов в придонной воде и донных отложениях, свинца, цинка, цезия (Cs 137), хрома и мышьяка в 2005 г. наблюдались самые низкие значения видового богатства и видового разнообразия в сообществах донных животных (Golubkov et al. 2011).

В эти же годы отмечен наиболее низкий уровень развития гидробионтов, определяющих условия нагула рыб, что связано как с дампингом грунта, так и с распространением зоны повышенной мутности на всю акваторию Невской губы (Susloparova et al. 2014). Последствиями гидротехнических работ и связанного с ними вторичного загрязнения эстуария стала потеря нерестилищ и мест нагула рыб, снижение продуктивности всех составляющих биоты (Susloparova et al. 2014).

По сравнению с 80-ми годами прошлого столетия в XXI веке в Невской губе и курортном районе восточной части Финского залива увеличилась доля аномальных, имеющих морфологические отклонения особей массового вида олигохет *Spirosperma ferox* Eisen. По концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов в 90-е годы особенно

выделялись зоны глинистой седиментации в наиболее глубоководной центральной части губы (в центре разрезов о. Верперлуда – Петродворец и Лисий Нос – Ломоносов) и около пос. Ольгино в районе северных очистных сооружений (Рыбалко и Федорова [Rybalko and Fedorova] 1996). Показательно, что внутри этих зон обнаружены почти исключительно аномальные особи *Spirosperma ferox* Eisen и *Chironomus f. l. plumosus* L. с уродствами субментума. Деформированные особи личинок хирономид *Chironomus f. l. plumosus* встречались на разных участках Невской губы и в курортной зоне восточной части Финского залива в течение всего периода наблюдений. Деформации у личинок хирономид и аномалии олигохет могут быть следствием сильного, но сублетального токсического загрязнения эстуария, в частности тяжелыми металлами и нефтепродуктами (Balushkina and Finogenova 2003; Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2008; Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2012). У двустворчатых моллюсков маркером токсического загрязнения оказалось состояние пищеварительной железы. Показано, что моллюски, собранные в загрязненной Невской губе, имеют высокий процент особей с атрофией пищеварительной железы (Golubkov et al. 2011).

Увеличение степени токсического загрязнения может приводить к распространению у животных морфологических и биохимических патологий. Появление опухолеобразных образований у планктонных рачков, патология покровов тела и аномально малые размеры особей в популяциях олигохет, морфологические деформации у личинок хирономид, распространение заболеваний рыб, в свою очередь, может привести к снижению способности системы к «самоочищению» и ее деградации. Однако, как показали наши исследования, увеличение степени загрязнения в Невской губе в среднем вызывает повышение количественного развития донных животных на фоне снижения их видового разнообразия, т.е. усиление степени доминирования индикаторов «загрязненных» и «грязных» вод (Golubkov et al. 2011).

Прогрессирующее эвтрофирование открытых вод эстуария р. Невы, которое началось с конца 1990 гг., было обусловлено как антропогенным воздействием, так и неблагоприятными изменениями климата. Оно привело к повышению первичной продукции и биомассы фитопланктона, усилению доминирования цианобактерий, развитию придонной гипоксии, разрушению аборигенных сообществ донных животных, вселению чужеродных видов, подрыву кормовой базы рыб (Alimov and Golubkov 2008; 2010; Golubkov et al. 2007; Голубков [Golubkov] 2009; Golubkov et al. 2009).

Эвтрофирование Невской губы было особенно сильно выражено вблизи крупных городов Ломоносов и Петергоф, где уровень первичной продукции достигал 0.9–1.2 гС/м^2·сут., характеризуя водоем как эвтрофный, а концентрация хлорофилла «а» составляла 19–23 мкг/л (Голубков [Golubkov] 2009). Как показали наши исследования, на этих участках Невской губы проявилось влияние эвтрофирования на видовое разнообразие зообентоса, которое снижалось с увеличением первичной продукции (от 0.23 до 0.90 гС/м^2·сут.) с 3.57 на станции 9, расположенной в области наибольшей проточности до 1.5 бит/экз. на станции 17, расположенной в юго-западной части губы вблизи г. Ломоносов (Рис. 1). Мультирегрессионный анализ влияния биотических и абиотических факторов на биологическое разнообразие зообентоса в Невской губе в 2003 г. показал очень высокую и равную значимость по степени влияния концентраций хлорофилла «а» и величин первичной продукции, с увеличением которых видовое разнообразие снижалось. Причем резкое снижение видового богатства и видового разнообразия донных животных в Невской губе отмечалось, когда уровень трофии экосистемы повышался и переходил границу мезотрофных вод (Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2008б; Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2012). В отличие от сообществ донных животных индексы Шеннона, рассчитанные для фито- и зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря, не показали связи с уровнем трофии водоема (Dmitrieva et al. 2014). В то же время была получена отрицательная линейная корреляция между биомассой фитопланктона и индексом Шеннона (Dmitrieva et al. 2014), которую получали и мы в исследованиях влияния факторов среды обитания на биоразнообразие зообентоса (Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2008б). Было показано, что эвтрофирование Невской губы стимулировало количественное развитие донных животных, численность зообентоса возрастала с увеличением первичной продукции (A) и снижалась с повышением деструкции (D) и соотношения A/D. Биомасса зообентоса возрастала

с увеличением концентрации сухого вещества (Балушкина и др. [Balushkina et al.] 2008б).

Как показано нами, интегральная, средняя оценка качества вод всей акватории Невской губы на протяжении 20 лет (1994–2013 гг.) оставалась достаточно постоянной – воды, за исключением 2006 г., оценивались как «загрязненные» (4 класс), а состояние экосистемы – как «критическое». Оценка с использованием нормативов качества поверхностных вод (по химическим характеристикам) также указывает, что большая часть вод Невской губы в 2001г. относилась к 4 классу вод (Басова и др. [Basova, et al.] 2002). По данной классификации вода 4 класса даже после подготовки непригодна для питьевого водоснабжения, рыбоводства, целей рекреации и для использования в производстве требует более сложной подготовки (чем воды 3 класса). Оценка, приведенная в этой работе (Басова и др. [Basova et al.] 2002) так же, как и оценка по интегральному показателю *IP′*, указывает на «кризис» экосистемы с точки зрения водопользования.

По сравнению с Невской губой условия обитания донных животных в курортном районе восточной части Финского залива в период исследований были хуже и определялись сочетанием неблагоприятных для развития донных животных естественных факторов (замедление скорости водообмена, повышение солености) и антропогенным воздействием, поэтому процессы восстановления, отчетливо выраженные в Невской губе в 90-е годы, практически не коснулись курортного района восточной части Финского залива. Как следствие геохимических барьеров, концентрирование взвеси и биогенных элементов происходит во внутреннем эстуарии, в районе курортной зоны Санкт-Петербурга осаждается более 70% загрязняющих веществ (Голубков [Golubkov] 2009). Этот участок в наибольшей степени подвержен эвтрофированию. Трофический статус внутреннего эстуария р. Невы характеризуется в настоящее время как мезотрофно–эвтрофный, статус внешнего эстуария меняется от олиготрофного до мезотрофного (Голубков [Golubkov] 2009; Golubkov and Alimov 2010).

На фоне повышения солености, прогрессирующего процесса эвтрофирования курортной зоны (Голубков [Golubkov] 2009), повышения токсического загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами (Информационный... [Newsletter...] 2008), в этой зоне эстуария в 1994–2007 гг. происходило снижение видового богатства, видового разнообразия, численности и биомассы зообентоса, т.е. наблюдались все признаки деградации сообществ донных животных. В 2006 г. значения этих показателей были наиболее низкими за период исследований, что, несомненно, было связано с проведением крупномасштабных дноуглубительных и грунтонамывных работ в Невской губе. В последующие годы 2008–2013 гг. отмечалось восстановление курортного района восточной части Финского залива, что способствовало увеличению видового богатства, видового разнообразия, численности и биомассы зообентоса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали сильную зависимость видового состава, числа видов и видового разнообразия зообентоса от биотических и абиотических факторов среды обитания, качества воды.

Первый этап исследований (1994–2002 гг.) в Невской губе сопровождался процессами восстановления эстуария, связанными со спадом промышленности г. Санкт-Петербурга, увеличением числа видов, индексов биологического разнообразия донных животных, снижением значений интегрального показателя. В то же время статистический анализ влияния абиотических факторов показал достоверную отрицательную зависимость биологического разнообразия зообентоса от величин первичной продукции, концентраций ряда тяжелых металлов и токсикантов.

Второй этап сопровождался усилением антропогенного воздействия на эстуарий. Средние для Невской губы значения *IP′* возрастали в течение второго этапа до 68.2% в 2006 г.: состояние Невской губы в 2006 г. было наихудшим за весь период исследований и оценивалось как «кризис», воды – как «загрязненные–грязные» (4–5 класс). Статистический анализ влияния биотических и абиотических факторов на биологическое разнообразие зообентоса показал очень высокую и равную значимость по степени влияния концентраций хлорофилла «а», величин первичной продукции, концентраций ряда тяжелых металлов и токсикантов.

В последующие годы (третий этап 2006–2013 гг.) улучшение состояния Невской губы было

связано с прекращением крупномасштабных строительных и дноуглубительных работ. В эти годы происходило восстановление зообентоса, видовое богатство и видовое разнообразие донных животных возрастало с повышением качества воды.

На фоне повышения солености, прогрессирующего процесса эвтрофирования курортного района восточной части Финского залива, повышения токсического загрязнения тяжелыми металлами и нефтепродуктами в 1994–2006 гг. в этой зоне эстуария единовременно происходило снижение видового богатства, видового разнообразия, численности и биомассы зообентоса, т.е. наблюдались все признаки его деградации. Снижение антропогенной нагрузки в последующие годы сопровождалось восстановлением курортного района восточной части Финского залива, увеличением видового разнообразия зообентоса.

Видовое богатство и видовое разнообразие донных животных Невской губы и курортного района восточной части Финского залива, несмотря на небольшой интервал изменений средних значений *IP'* в пределах двух классов вод, определялись качеством воды и достоверно зависели от интегрального показателя *IP'*, закономерно снижаясь с его повышением.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны А.А. Максимову и М.С. Голубкову за помощь в сборе проб зообентоса, а также двум рецензентам за конструктивные замечания по рукописи статьи. Работа выполнена при частичной поддержке темы ОБН №01201351192 и грантов РФФИ № 14-04-00207 и № 13-04-00962.

ЛИТЕРАТУРА

Alekseeva N.A. 1986. Zoobenthos. Review of pollution of the eastern Gulf of Finland by hydrobiological characteristics in 1985. State committee of the USSR for hydrometeorology and environmental monitoring. Northwestern territorial department for hydrometeorology and environmental monitoring. Leningrad: 243–255.

Alimov A.F. and Golubkov S.M. 2008. Changes in the ecosystems of the eastern Gulf of Finland. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, **78**(3): 223–234.

Alimov A.F., Balushkina E.V. and Golubkov S.M. 2005. Development of unified methodological approach for assessing water quality and the state of ecosystems using of biological characteristics. Aquaterra. Proceedings of Conference, Saint-Petersburg: 264–273. [In Russian].

Alimov A.F., Balushkina E.V. and Umnov A.A. 1996. Approaches to the assessment of condition of water ecosystems. In: S.G. Inge-Vechtomov and V.V. Hudoley (Eds.). Environment impact assessment and criterions of ecological standartization. Scientific Centre RAS, Saint-Petersburg: 37–47. [in Russian].

Balushkina E.V. 1976. Chironomids as indicators of the degree of water pollution. In: O.A. Scarlato and G.G. Winberg (Eds.). Methods of biological analysis of fresh waters. Zoological Institute of RAS, Leningrad: 106–118. [In Russian].

Balushkina E.V. 1987. Functional significance of chironomid larvae in continental reservoirs. Nauka, Leningrad, 180 p. [in Russian].

Balushkina E.V. 1995. New method for the assessment of water quality on the basis of zoobethos parameters. Modern problems of hydrobiology, Zoological Institute, Saint-Petersburg: 8.

Balushkina E.V. 1997a. The use of for water quality assessment by structural characteristics of benthic communities. In: A.F. Alimov (Ed.). Response of lacustrine ecosystems to changes in internal conditions. Zool. Inst.RAS, Saint-Petersburg: 266–292. [In Russian].

Balushkina E.V. 1997b. New Integrated Index for water quality evaluation based on structural charcteristics of zoobenthos. Proceedings of the Final Seminar of the Gulf of Finland Year 1996. Painopaikka: Oy Edita Ab, Helsinki: 177–202.

Balushkina. E.V. 1998. Assessment of water quality and state of the system Ladoga Lake – Neva River – Neva Bay eastern Gulf of Finland based on structural features of macrozoobenthos. *Proceedings of the Zoological Institute RAS,* **276**: 35–42.

Balushkina E.V. 2002. Structure of benthic animal communities and assessment of ecological state of the Izhora river. Part 1. Assessment of water quality of the Izhora river by structural characteristics of benthic animals in different years. *Inland water biology,* **4:** 61–67. [In Russian].

Balushkina E.V. 2003. Structure of benthic animal communities and assessment of ecological state of the Izhora river. Part 2. Impact of water hydrophysical and hydrochemical parameters on structural characteristics of benthic animal communities. *Inland water biology*, **1**: 74–80. [In Russian].

Balushkina E.V. 2004. Changes in the structure of benthic animal communities under anthropogenic impact on aquatic ecosystems (by the example of small lakes of Leningrad Region). *Euroasian Entomological Journal*, **3**(4): 276–282. [In Russian].

Balushkina E.V. 2009. Assessment of tte Neva estuary ecosystem state on the basis of the structural charac-

teristics of benthic animal communities in 1994–2005. *Inland water biology*, **2**(4): 355–363.

Balushkina E.V. 2012. Using the integrated index for the assessment of the state of biodiversity and water quality. In: A.F. Alimov and S.M. Golubkov (Eds.). Dynamics of biodiversity and bioresources of inland waters. Nauka, Saint-Petersburg: 243–258. [In Russian].

Balushkina E.V. and Golubkov S.M. 2014. Biodiversity change of benthic animals in the open part of the Neva River estuary under anthropogenic stress in the 1982–2013. XV International Environmental Forum “Baltic Sea Day”. Thesis collection. Roswodresurs, Saint-Petersburg: 225–226.

Balushkina E.V., Golubkov S.M., Umnova L.P. and Tsiplenkina I.G. 2004. Structural and functional characteristics of communities of benthic animals as an indicator of water quality and state of aquatic ecosystems (by the example of Slavianka and Mga Rivers). In: A.F. Alimov and M.B. Ivanova (Eds.). Regularities of hydrobiological regime in water bodies of different types. Scientific World, Moscow: 235–249. [In Russian].

Balushkina E.V., Maksimov A.A. and Golubkov S.M. 2008a. Zoobenthos of the open waters of the Neva River estuary. In: A.F Alimov. and S.M. Golubkov (Eds.). Ecosystem of the Neva River estuary: biodiversity and ecological problems. KMC Press, Moscow: 156–184. [In Russian].

Balushkina E.V. Golubkov S.M., Golubkov M.S. and Maksimov A.A. 2008b. The role of anthropogenic factors in the dynamics of zoobenthic communities. In: A.F. Alimov and S.M. Golubkov (Eds.). Ecosystem of the Neva River estuary: biodiversity and ecological problems. KMC Press, Moscow: 356–371. [In Russian].

Balushkina E.V., Maksimov A.A. and S.M.Golubkov. 2012. The impact of anthropogenic factors on the biodiversity of benthic animal communities with reference to the Neva Estuary. In: A.F.Alimov and S.M. Golubkov (Eds.). Dynamics of biodiversity and bioresources of the Inland waters. Nauka, Saint-Petersburg: 167–175. [In Russian].

Balushkina E.V. and Finogenova N.P. 2003. Changes in benthic community structure and assessment of state and quality of waters of ecosystems of the Neva Bay and the Gulf of Finland in 1994–2001. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences; Biology*. **52**(4): 365–377.

Basova, S.L., Kobeleva, N.I., Leonova, M.V. and Frumin, G.T. 2002. Characterization of the state of the Neva Bay by hydrochemical indices in 2001. In: D.A. Golubev and N.D. Sorokin (Eds.). Environmental protection, nature management and providing ecological safety in Saint-Petersburg in 2001. Saint-Petersburg: 175–182. [In Russian].

Basova S.L., Rybalko A.E. and Fedorova N.K. 2006. Results of state monitoring of the eastern part of the Gulf of Finland Carried out by the branches of the Russian hydrometeorological service and the Ministry of nature resources of the Russian Federation. VII International Environmental Forum “Baltic Sea Day” Saint-Petersburg, **2**: 83–86.

Criteria of assessment of ecological situation of territories for revealing zones of emergency ecological situation and ecological disaster. 1992. The Ministry of Protection of Environment, Moscow, 58 p. [In Russian].

Derjugin K.M. 1923. Hydrological and hydrobiological studies of the Neva Bay. 1 Hydrobiology and benthos. Studies of the Neva River and its basin, Petrograd: 31–38. [In Russian].

Derjugin K.M. 1925. Hydrological and hydrobiological studies of the Neva Bay. In 4. Hydrology and benthos of the eastern part of the Gulf of Finland. Studies of the Neva River and its Basin, Leningrad: 3–48. [In Russian].

Directive 2000/60/EC of the European Parliament of the Council of the 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy official journal L 327 22/12/2000: 1–73.

Dmitrieva O., Podgornyj K. and Semenova A. 2014. The approaches to the study of biological diversity of plankton communities Sous-East of the Baltic Sea. XV International Environmental Forum “Baltic Sea Day”. Roswodresurs, Saint-Petersburg: 229–230.

Eremina T.R., Khaimina O.V., Isaev A.V., Lange E.K., Ershova A.A., Maximov A.A., Zaytsev V.M. and Markovets I.M. 2009. Assessment of environmental state of the easternpart of the Gulf of Finland and Neva Bay on the basis of monitoring held in 2008. X International Environmental Forum “Baltic Sea Day”. Maxi-Print, Saint-Petersburg: 225–226.

Finogenova N.P., Golubkov S.M., Panov V.E., Balushkina E.V, Pankratova V.Ya. Lobasheva T.M. and Pavlov A.M. 1987. Macrobenthos. Neva Bay. In: G.G. Winberg (Eds.). Hydrobiological study. Nauka, Leningrad: 111–120. [In Russian].

Finogenova N.P., Slepukhina T.D., Golubkov S.M., Balushkina E.V., Starobogatov Ya.I. and Barbashova M.A. 1999. Composition and quantitaive indices of benthic invertebrates. In: V.A. Rumiancev and V.G. Drabkova (Eds.). Gulf of Finland under conditions of anthropogenic impact. Institute of Limnology RAS, Saint-Petersburg: 189–211. [In Russian]

Frumin G.T. and Kryuchkov A.M. 1999. Hydrochemical characteristics. In: V.A. Rumiancev and V.G. Drabkova (Eds.). Gulf of Finland under anthropogenic impact. Institute of Limnology RAS, Saint-Petersburg: 48–65.

Golubkov M.S. 2009. Primary production of the Neva estuary at the turn of the XX–XXI century. *Inland water biology,* **4**: 20–26.

Golubkov S.M. and Alimov A.F. 2010. Ecosystem changes in the Neva Estuary (Baltic Sea): Natural dynamics or

response to anthropogenic impacts? *Marine Pollution Bulletin*, **61**: 198–204.

Golubkov S., Balushkina E., Berezina N. and Maximov A. 2009. Effects of eutrophication and contamination on modern dynamics of bottom animal communities in Neva Bay and the eastern Gulf of Finland. Thesises collection. X International Environmental Forum "Baltic Sea Day". Maxi-Print, Saint-Petersburg: 48.

Golubkov S.M., Balushkina E.V., Rybalko A.E. Berezina N.A., Maximov A.A., Gubelit Yu.I. and Golubkov M.S. 2011. Quality of water and bottom deposits in the Russian part of the Gulf of Finland by hydrobiological indices Thesises collection. X International Environmental Forum "Baltic Sea Day". Color-Print, Saint-Petersburg: 311–312.

Goodnight C.J. and Whitley L.S. 1961. Oligochaetes as indicators of pollution. Proceedings 15-th Ind. Waste Conference, **106:** 139–142.

Jakovlev V.A. 1988. The assessment of freshwaters quality of Kola North for hydrobiological parameters and the data of toxicity tests. In: V.V. Kruchkov (Ed.). Kola Branch AS USSR, Apatity: 1–25. [In Russian].

Materials for the study of the benthos of the Neva Bay. 1949. *Scientific notes of the Leningrad University, series of biological sciences*, **21:** 107–141.

Newsletter N10. 2008. Saint-Petersburg. FGU NPP on Marine and Exploration "SEVMORGEO": 51p.

A review of the state of aquatic objects by hydrobiological parameters on the territory SZUGKS in 1980. 1981. Hydrometeorological control environment. Northwest Territorial. Upravlenie Hydrometeorological control environment. Leningrad: 201 p.

Rybalko A.E. and Fedorova N.K. 1996. Sediments and geochemical processes in the barrier zone "bottom-water" in the southern part of Lake Ladoga – r. Neva – Neva estuary. In: A.F. Alimov and A.K. Frolov. Ecological state of the Neva River drainage-area. Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg: 68–91. [In Russian].

Rybalko A.E., Zhakovskaya Z.A., Khoroshko L.O., Petrova V.N., Tsarev V.S. and Nikonov V.A. 2009. Results of estimation of some hazardous substances contents in bottom sediments samples of Eastern part of gulf of Finland (according to the Rosnedra federal monitoring). X International Environmental Forum "Baltic Sea Day". Tesises collection. Maxi-Print, Saint-Petersburg: 418–419.

Sementchenko V.P. 2004. Principles and systems Bioindication flowing waters. Walnut, Minsk, 125 p.

Sementchenko V.P. and Razlutsky V.I. 2010. Ecological quality of surface waters. Navuka, Minsk, 329 p.

Skorikov A.S. 1910. Zoological studies of Ladoga water as drinking water. Saint-Petersburg, 123 p. [In Russian].

Susloparova O.N., Tereshenkova T.V., Khozyaykin A.A., Zuev J.A., Tamulenis A.J., Sendek D.S., Bogdanov D.V. and Shuruhin A.S. 2014. Estimstion of negative impact consecuences of technogenic loading on water biological resources of the Neva bay of the Gulf of Finland according to long-term monitoring. XV International Environmental Forum "Baltic Sea Day". Rosvodresursy, Saint-Petersburg: 234–235.

Woodowiss F.S. 1964. The biological system of stream classification used by the Trent Board. *Chemistry and Industry*, **11**: 443–447.

Представлена 15 февраля 2015; принята 25 марта 2015.